



Docket No. 1232-5095

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): Fumitaro MASAKI, et al

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/629,879

Examiner: TBA

Filed: July 29, 2003

For: ADJUSTMENT METHOD AND APPARATUS OF OPTICAL SYSTEM, AND
EXPOSURE APPARATUS

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. §1.8(a))

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

I hereby certify that the attached:

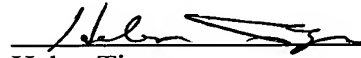
1. Claim to Convention Priority;
2. Certified Copy of Claim to Convention Priority document; and
3. Return Receipt Postcard

along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: September 8, 2003

By:


Helen Tiger

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile



Docket No. 1232-5095

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): Fumitaro MASAKI, et al.

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/629,879

Examiner: TBA

Filed: July 29, 2003

For: ADJUSTMENT METHOD AND APPARATUS OF OPTICAL SYSTEM, AND
EXPOSURE APPARATUS

CLAIM TO CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In the matter of the above-identified application and under the provisions of 35 U.S.C. §119 and 37 C.F.R. §1.55, applicant(s) claim(s) the benefit of the following prior application(s):

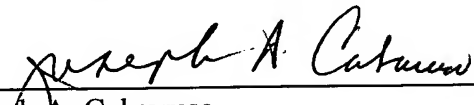
Application(s) filed in: Japan
In the name of: Canon Kabushiki Kaisha
Serial No(s): 2002-220389
Filing Date(s): July 29, 2002

- ☒ Pursuant to the Claim to Priority, applicant(s) submit(s) a duly certified copy of said foreign application.
- ☐ A duly certified copy of said foreign application is in the file of application Serial No. _____, filed _____.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: September 5, 2003

By:



Joseph A. Calvaruso
Registration No. 28,287

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 7 月 2 9 日
Date of Application:

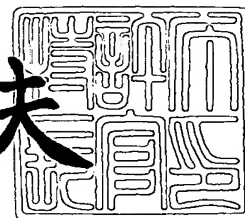
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 2 0 3 8 9
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 2 2 0 3 8 9]

出 願 人 キヤノン株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 8 月 1 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 6 9 8 8

【書類名】 特許願

【整理番号】 4673003

【提出日】 平成14年 7月29日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明の名称】 光学系の調整方法及び装置、露光装置

【請求項の数】 17

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 正木 文太郎

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 三宅 明

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100110412

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤元 亮輔

【電話番号】 03-3523-1227

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 062488

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0010562

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学系の調整方法及び装置、露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 多層膜ミラーを有する光学系の調整方法であって、
前記光学系の波面収差を計測するステップと、
前記計測ステップで計測した前記波面収差が低減するように、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する条件を決定するステップと、
前記決定ステップで決定した前記条件に基づいて、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去するステップとを有する調整方法。

【請求項 2】 前記条件は、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する除去領域である請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 3】 前記条件は、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する除去量である請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 4】 前記計測ステップで計測した前記波面収差が低減するように、前記多層膜ミラーの調整量を算出するステップと、
前記算出ステップで算出した前記調整量に基づいて、前記多層膜ミラーを調節するステップと、

前記波面収差が天元摺るように、前記計測ステップ、前記算出ステップ及び前記調節ステップを繰り返すステップとを更に有する請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 5】 前記波面収差が低減するように、前記計測ステップ、前記除去条件決定ステップ、前記除去ステップ、を繰り返すステップを更に有する請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 6】 前記調整量は、前記多層膜ミラーの位置を含む請求項 4 記載の調整方法。

【請求項 7】 前記調整量は、前記多層膜ミラーの角度を含む請求項 4 記載の調整方法。

【請求項 8】 前記光学系は、複数の多層膜ミラーを有する請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 9】 前記計測ステップは、EUV 光を用いて前記波面収差を計測

する請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 10】 前記計測ステップは、紫外線光、可視光又は赤外線光を用いて前記波面収差を計測する請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 11】 前記除去ステップは、スパッタリングを用いて前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 12】 前記除去ステップは、イオンビームミリングを用いて前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する請求項 1 記載の調整方法。

【請求項 13】 多層膜ミラーを有する光学系の調整装置であって、
前記光学系の波面収差を計測する計測部と、
前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する除去部と、
前記計測部が計測した前記波面収差に基づいて、前記多層膜ミラーの足そう尾膜の一部を除去する条件を決定すると共に、決定した前記条件に従って前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去するように前記除去部を制御する制御部とを有する調整装置。

【請求項 14】 請求項 13 記載の調整装置を有する光学装置。

【請求項 15】 請求項 1 乃至 12 のうちいずれか一項記載の調整方法を用いて調整された光学系。

【請求項 16】 光源からの光を、請求項 15 記載の光学系を介して被処理体に導いて当該被処理体を露光する露光装置。

【請求項 17】 請求項 16 記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有するデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体ウェハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ（LCD）用のガラス基板などの被処理体を露光する露光装置を調整する調整方法及び装置に関する。本発明は、特に、露光光源として紫外線や軟 X 線（EUV：extreme

ultraviolet 光)を利用して露光を行う露光装置に好適である。

【0002】

【従来の技術】

フォトリソグラフィー(焼き付け)技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子を製造する際に、レチクル又はマスク(本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する)に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する縮小投影露光装置が従来から使用されている。

【0003】

縮小投影露光装置で転写できる最少の寸法(解像度)は、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系の開口数(NA)に反比例する。従って、波長を短くすればするほど、解像度はよくなる。このため、近年の半導体素子の微細化への要求に伴い短波長化が進められ、超高圧水銀ランプ(i線(波長約365nm))、KrFエキシマレーザー(波長約248nm)、ArFエキシマレーザー(波長約193nm)と用いられる紫外線光の波長は短くなってきた。

【0004】

しかし、半導体素子は急速に微細化しており、紫外線光を用いたリソグラフィーでは限界がある。そこで、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の非常に微細な回路パターンを効率よく転写するために、紫外線光よりも更に波長が短い、波長10nm乃至15nm程度の軟X線(EUV光)を用いた縮小投影光学系が開発されている。

【0005】

EUV光の波長領域では、物質による光の吸収が非常に大きくなるので、可視光や紫外線光で用いられるような光の屈折を利用した屈折型光学系は実用的ではなく、EUV光を用いた露光装置では光の反射を利用した反射型光学系が用いられる。この場合、レチクルも反射鏡の上に吸収体によって転写すべきパターンが形成された反射型レチクルが用いられる。

【0006】

EUV光を用いた露光装置を構成する反射型光学素子としては、光学定数の異なる2種類の物質を交互に積層した多層膜反射鏡が用いられる。例えば、精密な

形状に研磨されたガラス基板の表面にモリブデン（M o）層とケイ素（S i：シリコン）層を交互に積層する。かかる層の厚さは、例えば、モリブデン層の厚さは 2 n m、ケイ素層の厚さは 5 n m 程度である。一般に、2 種類の物質の層の厚さを加えたものは膜周期と呼ばれ、上記例では膜周期は 7 n m となる。

【0 0 0 7】

このような多層膜反射鏡に E U V 光を入射させると、特定の波長の E U V 光が反射される。入射角を θ 、E U V 光の波長を λ 、膜周期を d とすると、近似的には、以下に示す式 1 の関係を満足するような波長 λ を中心とした狭いバンド幅の E U V 光だけが効率よく反射される。このときのバンド幅は、0 . 6 n m 乃至 1 . 0 n m 程度である。

【0 0 0 8】

【数 1】

$$2 \times d \times \sin \theta = \lambda$$

【0 0 0 9】

反射される E U V 光の反射率は最大で 0 . 7 程度であり、反射されなかった E U V 光は多層膜中あるいは基板中で吸収され、そのエネルギーの大部分が熱になる。従って、光学系全系での反射率を高めるために多層膜反射鏡の枚数は最小限に抑えることが必要である。

【0 0 1 0】

そこで、E U V 光に用いられる投影光学系は、4 枚乃至 6 枚程度の多層膜反射鏡で構成され、かかる多層膜反射鏡の反射面は、平面、凸面又は凹面の球面又は非球面の面形状を有する。

【0 0 1 1】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、投影光学系の多層膜反射鏡の面形状は、非常に高い精度であることが要求される。例えば、投影光学系を構成する多層膜反射鏡の枚数を n 、E U V 光

の波長を λ とすると、許容される形状誤差 σ （rms 値）は式 2 に示すマレシャルの式で与えられる。

【0012】

【数 2】

$$\sigma = \frac{\lambda}{2.8 \times \sqrt{n}}$$

【0013】

例えば、投影光学系を構成する多層膜反射鏡を 4 枚、EUV 光の波長を 13 nm とした場合、形状誤差 σ は 0.23 nm となる。また、分解能 30 nm のパターン転写を行う場合、投影光学系全系に許容される波面収差量は 0.4 nm 程度である。

【0014】

研磨によって形状誤差を上記許容値内に収めることは困難であるし、また、十分に精度良く研磨された多層膜反射鏡であっても自重による変形や複数の多層膜反射鏡を組み合わせるときに生じたアライメントに起因する誤差は避けられない。例えば、“2nd International Source Workshop on EUV Lithography”で発表された内容において、繰り返しアライメントを行った後でも投影光学系全系を通じて 1 nm 程度の波面収差が残っている。即ち、投影光学系を構成する多層膜反射鏡（基板）の面形状誤差、アライメント誤差、多層膜反射鏡の自重変形などによって、被処理体（例えば、ウェハなど）面上での波面は、計算により求まる理想的な波面からのずれ、所謂、波面収差を持つ。その結果、投影光学系の結像性能を十分に発揮することができず、解像度の低下やコントラストの低下などが起こり、微細なパターンの転写ができなくなる。

【0015】

そこで、本発明は、EUV光を用いた場合においても安定して微細なパターンを転写することができる光学系の調整方法及び装置、露光装置を提供することを例示的目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての調整方法は、多層膜ミラーを有する光学系の調整方法であって、前記光学系の波面収差を計測するステップと、前記計測ステップで計測した前記波面収差が低減するように、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する条件を決定するステップと、前記決定ステップで決定した前記条件に基づいて、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去するステップとを有する。かかる調整方法によれば、光学系の波面収差を多層膜ミラーの多層膜の一部を除去することで低減させることが可能となり、波面収差の補正された光学系を実現することができる。前記条件は、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する除去領域あるいは前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する除去量である。前記計測ステップで計測した前記波面収差が低減するように、前記多層膜ミラーの調整量を算出するステップと、前記算出ステップで算出した前記調整量に基づいて、前記多層膜ミラーを調節するステップと、前記波面収差が低減するように、前記計測ステップ、前記算出ステップ及び前記調節ステップを繰り返すステップとを更に有する。これにより、多層膜ミラーの位置や角度などのアライメント調整により波面収差を低減させることが可能となり、多層膜ミラーの一部を除去して波面収差を低減させることと組み合わせることでより光学系全系に発生する波面収差を抑制することができる。アライメント調整により波面収差を低減させるステップと多層膜ミラーの一部を除去して波面収差を低減させるステップを組み合わせたステップを繰り返し行えばさらに厳密な波面収差の抑制が可能となる。前記調整量は、前記多層膜ミラーの位置あるいは前記多層膜ミラーの角度を含む。前記光学系は、複数の多層膜ミラーを有する。前記計測ステップは、EUV光を用いて前記波面収差を計測する。前記計測ステップは、紫外線光、可視光又は赤外線光を用いて前記波面収差を計測する。前記除去ステップ

は、スパッタリングを用いて前記多層膜ミラーの一部を除去する。前記除去ステップは、イオンビームミリングを用いて前記多層膜ミラーの一部を除去する。

【0017】

本発明の別の側面としての調整装置は、多層膜ミラーを有する光学系の調整装置であって、前記光学系の波面収差を計測する計測部と、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する除去部と、前記計測部が計測した前記波面収差に基づいて、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する条件を決定すると共に、決定した前記条件に従って前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去するように前記除去部を制御する制御部とを有する。かかる調整装置によれば、上述の調整方法の作用と同様の作用を奏する。前記調整装置は、光学装置の一部であってもよい。

【0018】

本発明の更に別の側面としての光学系は、上述の調整方法を用いて調整され、波面収差の発生が低減された光学系を実現している。

【0019】

本発明の更に別の側面としての露光装置は、光源からの光を、上述の光学系を介して被処理体に導いて当該被処理体を露光する。かかる露光装置によれば、上述した光学系を構成要素の一部に有し、波面収差の発生を低減させ、優れた結像性能を発揮することができる。

【0020】

本発明の更に別の側面としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて前記被処理体を露光するステップと、露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有する。上述の露光装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0021】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の例示的一態様である光学系の調整装置及び調整方法について説明する。但し、本発明は、これらの実施例に限定するものではなく、本発明の目的が達成される範囲において、各構成要素が代替的に置換されてもよい。ここで、図2は、本発明の調整装置100の概略ブロック図である。

【0023】

調整装置100は、コーティングミーリングの手法を利用して、多層膜ミラーを有する光学系の調整を行う。コーティングミーリングは、個々の多層膜ミラーの基板面形状の補正方法として、「SUB-nm Figure Error Correction of a Multilayer Mirror by Its Surface Milling」(Masaki Yamamoto, Nuclear Instruments and Method in Physics Research A, 467-468 (2001) pp. 1282-1285) において提案されている。以下、図3乃至図8を参照して、コーティングミーリングについて説明する。

【0024】

図3(a)に示すように、平坦なミラー基板310上に均一に多層膜320が成膜されている多層膜ミラー300に位相の揃った平行光Aを入射すると、図3(b)に示すように、完全に位相の揃った(即ち、反射波面の揃った)反射光Bが得られる。しかし、図4(a)に示すように、多層膜320の膜数が一層対異なる部分320aからの反射光の波面B'との比較をする場合、図4(b)に示すように、反射光の波面B'に位相の違いが生じる。ここで、図3は、膜数が均一な多層膜における入射光と反射波面の関係を示す概略模式図、図4は、膜数が一層対異なる多層膜における入射光と反射波面の関係を示す概略模式図である。

【0025】

一方、多層膜ミラーの反射率は、多層膜の周期数に依存する。図5に多層膜ミラーの反射率特性を示す。同図は、横軸に多層膜の周期数を、縦軸に最大値で規格化した反射率を採用している。図5を参照するに、40層対程度までは多層膜

の周期数の増加と共に反射率は大きく増加する。しかし、40層対以上では反射率はほぼ飽和する。即ち、反射率が飽和した後に、十分な多層膜の周期数が積層された状態、例えば、60層対程度積層された状態であれば多層膜の周期数の違いにより生じる現象は波面の違いだけである。

【0026】

以下、MoSi多層膜ミラーに13.5nmのEUV光を入射角10°で入射した場合において、最上層の多層膜を原点とし、最上層から多層膜を削る場合について考える。多層膜を削る量を除去量と呼ぶ。Mo/Si多層膜ミラーに13.5nmのEUV光を入射角10°で入射した場合における、多層膜の除去量と反射率のグラフを図6(a)、多層膜の除去量と波面のずれ量のグラフを図6(b)に示す。一般に、Mo/Si多層膜ミラーは、Moの酸化の影響を考慮し、Si層を最上層にするため、本実施形態においてもSi層を最上層として計算を行った。図6(a)及び図6(b)を参照するに、多層膜を1層対(6.99nm)除去することで、反射光の波面が0.025波長程度動くことが分かる。また、波面のずれ量を空間的な反射位置のずれに換算したグラフを図6(c)に示す。ここで、入射光の波長を λ 、波面のずれ量をWとすると、空間的な反射位置のずれLは次式により与えられる。

【0027】

【数3】

$$\lambda \times W = 2L$$

【0028】

本実施形態では、図6(c)を参照するに、多層膜を1層対(6.99nm)除去することは反射位置が0.2nm程度動くことに等しい。図6(a)から分かるようにCoating Millingを行うと、屈折率の関係からSi層に比べ、Mo層で大きく反射率及び波面が変化する。上述したように、60層対程度積層していれば、反射率は多層膜の周期に関して飽和しているので、1周期膜

厚を取り除くと反射率は変化せずに波面だけが変化する。

【0029】

図3乃至図6を参照して説明した関係を用いれば、多層膜ミラーの基板面形状の0.2nm程度の補正を、多層膜を一層対(6.99nm)除去することで容易に達成することができる。

【0030】

例えば、図7(a)に示すように、歪んだミラー基板410に均一な多層膜420が成膜された多層膜ミラー400の場合を考える。コーティングミーリングは位相を遅らせる手法であるので、もっとも位相の遅れている多層膜ミラー400のA点を原点としてコーティングミーリングを行う。上述したように、Si層で波面の変化はほとんどなく、Mo層で大きく波面が変化するがMo層は酸化に弱い。このため特殊なコーティングをしない場合は、Mo層の中間でコーティングミーリングを終えて連続的に波面を調整するのは望ましくない。よって、図7(b)に示すように、MoとSiをあわせた層を1層対ずつ取り除き不連続的に波面を調整する。Si層に関しては酸化されにくくまた波面に大きな影響を及ぼさないためSi層の中間でコーティングミーリングを終えたとしてもかまわない。上述したように、13.5nmのEUV光を入射角10°で入射した場合、多層膜を1層対(6.99nm)ずつ除去することで0.2nm刻みで、空間的な反射位置すなわちミラー基板の形状誤差を補正することができる。ここで、図7は、歪んだミラー基板410に均一な多層膜420が成膜された多層膜ミラー400の概略断面図であって、図7(a)は、コーティングミーリングを施す前の多層膜ミラー400、図7(b)は、コーティングミーリングを施した後の多層膜ミラー400を示す。

【0031】

図7(a)及び図7(b)を参照するに、B点におけるミラー基板410の形状がA点から見て0.4nmの形状誤差をもち、C点が0.2nmの形状誤差をもつ場合、B点の多層膜420を2層対除去し、さらにC点の多層膜420を1層対除去することでミラー基板410の形状誤差に起因する波面収差が補正できる。

【0032】

同様に、例えば、図8(a)に示すように、端部E点に比べ中心部F点が盛り上がっているミラー基板510に均一な多層膜520が成膜された多層膜ミラー500の場合を考える。ここでは多層膜ミラー500のE点の位相が相対的に最も遅れているので、E点を原点としてコーティングミーリングを行う。図8(a)及び図8(b)を参照するに、端部E点と中心部F点とのミラー基板510の形状誤差が0.4nm程度でその間が連続的に変化している場合、中心部F点の多層膜520を2層対除去する。さらに、その両脇を1層対除去することで基板の形状誤差に起因する波面収差が補正できる。いずれの例においても、コーティングミーリングを行うには多層膜の膜数を減少させても反射率が減少しないように十分な膜数を積層させるのが好ましい。ここで、図8は、端部E点に比べ中心部F点が盛り上がっているミラー基板510に均一な多層膜520が成膜された多層膜ミラー500の概略断面図であって、図8(a)は、コーティングミーリングを施す前の多層膜ミラー500、図8(b)は、コーティングミーリングを施した後の多層膜ミラー500を示す。

【0033】

調整装置100は、図2によく示されるように、計測部110と、除去部120と、制御部130とを有する。

【0034】

計測部110は、光学系の全体の波面収差を計測し、例えば、点回折干渉計などの波面収差計測装置(PDI: Point Diffraction Interferometer)で構成される。以下、半導体露光装置の投影光学系を例にPDIの説明をする。レチクル面上にピンホールを置き、該ピンホールから光(軟X線、紫外線、可視光、赤外線など)の球面波を発生させる。ピンホール下流に位置する回折格子によりビームを2分割し、一方を、投影光学系を通過させてウェハ面位置の検出器に導き、残りの一方を参照波面として検出器に導く。2つの波面を検出器面上で干渉させることで投影光学系によって生じる波面収差を観測する。上記の手法で、ウェハ面上のある一点に関する波面収差の観測が終了する。レチクル面上のピンホールの位置を移動してレチクルの照明領域全面に

わたって波面収差を観測し、投影光学系の全体の波面収差を計測する。

【0035】

除去部120は、例えば、スパッタリングやイオンビームミーリングによって、多層膜ミラーの一部を除去する。スパッタリングは、加速したイオンを多層膜ミラーの表面（即ち、多層膜）に入射して原子を剥ぎ取ることによって多層膜を除去する。イオンビームミーリングは、イオン源を正電位状態に保ち、不活性ガスをを用いてプラズマを発生させ、イオン源より不活性ガスイオンを引き出し多層膜ミラーに照射しエッチングを行う。

【0036】

制御部130は、計測部110と除去部120に接続され、計測部110が計測した波面収差に基づいて、多層膜を除去する条件（即ち、除去領域及び除去量）を決定すると共に、決定した条件に従って多層膜ミラーの一部を除去するように除去部120を制御する。また、制御部130は、計測部110が計測した波面収差に基づいて、多層膜ミラーの調整量（即ち、位置及び角度）を算出する。

【0037】

以下、図1を参照して、上述の調整装置100を利用した本発明の調整方法1000の実施例を説明する。図1は、本発明の調整方法を説明するためのフローチャートである。ここでは、Mo/Si多層膜ミラーで構成される投影光学系の調整を例に説明する。

【0038】

まず、マレシャルの式で示したように、投影光学系の各々のMo/Si多層膜ミラーのミラー基板の面精度を十分な精度で研磨する（ステップ1002）。十分な精度で研磨が完成したミラー基板にMoとSiを交互に積層し多層膜を成膜する（ステップ1004）。例えば、全ミラーに、Mo層の厚さが2nm、Si層の厚さが5nm程度の多層膜を成膜する。

【0039】

次に、多層膜を成膜した多層膜ミラーを投影光学系の鏡筒へ組み込む（ステップ1006）。そして、計測部110により、投影光学系を通じた波面収差をウェハ面上で計測する（ステップ1008）。例えば、かかる投影光学系をEUV

光の波長領域で用いる場合、用いる波長と同じEUV光を用いて波面収差を計測することが好ましい。但し、もちろん、その使用波長（半導体露光装置の露光光の波長）以外のEUV光、紫外線光、可視光又は赤外線光を用いて波面収差を計測してもよい。

【0040】

計測した収差波面と許容量を比較し（ステップ1010）、波面収差が許容量の範囲内、例えば、分解能30nmの転写を行う場合、0.4nm以下であれば鏡筒への組み込み作業を完了とする。波面収差が許容量以上の場合は、ミラー位置の調整回数と規定回数を比較し（ステップ1012）、規定回数内の場合、制御部130により、測定した波面収差の結果からミラーのアライメント調整量（即ち、ミラーの位置及び／又は角度）を算出する（ステップ1014）。制御部130は、予め計算で各ミラーの回転および移動により発生する波面の変化を変化表として示し、その変化表を用いても良い。

【0041】

制御部130は、算出されたアライメント調整量に基づいて、投影光学系のミラー調整を行う（ステップ1016）。算出された量のミラー調整を行った後に計測部110により波面収差を測定する（ステップ1008）。波面収差が許容値以下であれば（ステップ1010）、組み込み作業を完了とし、許容値以上であれば（ステップ1010）、計測部110による波面収差の測定（ステップ1008）からミラー調整（ステップ1016）までの手順を繰り返す。投影光学系で発生する波面収差が最小となるようにアライメントを行う。しかし、ミラー基板の面形状誤差や、ミラーの自重によるたわみなどによって発生する波面収差を全てミラー位置の調整で取り除くことは困難であるのでミラーの位置調整を行う規定回数を定めて行う。

【0042】

ミラー位置調整の規定回数に達しても波面収差の量が許容値以上であれば（ステップ1012）、前述したコーティングミーリングを行う。計測部110によりウェハ面上で測定される波面収差は投影光学系全系に関しての波面収差である。個々のミラーに関してコーティングミーリングを行う必要はなく、所定のミラ

ーを選びそのミラーにコーティングミーリングを行って投影光学系全系の波面収差補正を行う。その所定のミラーは1枚に限らず複数枚であっても良い。制御部130は、波面収差の計測結果からミラーの多層膜の一部を除去する条件（即ち、補正量及び補正場所）を決定する（ステップ1018）。鏡筒からコーティングミーリングを行うミラーを取り出し、除去部120により所望の場所の多層膜をミラーから取り除く（ステップ1020）。

【0043】

コーティングミーリングを行ったミラーを鏡筒へ組み込み（ステップ1006）、計測部110による波面収差の計測（ステップ1008）からミラー調整（ステップ1016）までの手順を繰り返す。波面収差が許容値以下にならない場合は、更にコーティングミーリングにより補正を行い、同様のステップを繰り返す。

【0044】

ステップ1008からステップ1020までの手順を繰り返し、全系の波面収差が許容量以下になった時点で光学系の調整が終了となる。

【0045】

なお、紫外線光、可視光、赤外線光によってかかる投影光学系の波面収差を計測する場合、一度コーティングミーリングを行った後に再度それらの波長（紫外線、可視光、赤外線）でミーリングした領域の波面を計測するのは困難である。コーティングミーリングを行った領域は多層膜に段差ができており、紫外線、可視光、赤外線で波面を観測すると波面が大きくずれて観測され、EUV波長の波面収差とは異なって観測される。よって、紫外線、可視光、赤外線によって波面収差を計測する場合、上記説明したようにステップ1008からステップ1020までの手順を繰り返して複数回のミーリングを行うことは困難である。

【0046】

以下、図12を参照して、紫外線、可視光、赤外線によって波面収差を計測する場合の光学系調整過程を説明する。一度コーティングミーリングするまでの手順（ステップ1020までの手順）は、EUV光を用いて波面収差を計測する場合と同じである。

【0 0 4 7】

光学系へミラーを組み込み（ステップ1 0 2 2）、波面収差を測定する（ステップ1 0 2 4）。ここで、上述したようにコーティングミーリングを行った領域は波面が大きくずれて観測される。

【0 0 4 8】

そこで、コーティングミーリングを行った領域は除去して波面収差を測定する。コーティングミーリングを行った領域は除去する方法としては、多層膜ミラーのコーティングミラーを行った領域に相当する光を遮蔽するマスクを設けても良いし、波面の測定データのうちコーティングミーリングを行った領域に相当するデータをデータ処理の際に除去しても構わない。

【0 0 4 9】

計測した波面収差と許容値を比較し（ステップ1 0 2 6）許容値以下であれば光学系の調整が終了となる。許容値以上の場合は、ミラー位置の調整回数と規定回数を比較する（ステップ1 0 2 8）。規定回数内の場合、アライメントによる調整（ステップ1 0 2 2 からステップ1 0 3 2）を繰り返す。

【0 0 5 0】

ミラー位置調整の規定回数に達しても波面収差の量が許容値以上であれば（ステップ1 0 2 8）、光学素子研磨（1 0 0 2）からの手順を再度行う。

【0 0 5 1】

かかる調整方法を用いることで、波面収差の補正された投影光学系が実現される。

【0 0 5 2】

以下、図9を参照して、本発明の例示的な露光装置7 0 0について説明する。ここで、図9は、本発明の例示的な露光装置7 0 0の概略構成図である。本発明の露光装置2 0 0は、露光用の照明光としてEUV光（例えば、波長13.4 nm）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式の露光を行う投影露光装置である。

【0 0 5 3】

図9を参照するに、露光装置7 0 0は、照明装置7 1 0と、マスク7 2 0と、

マスク 720 を載置するマスクステージ 725 と、投影光学系 730 と、被処理体 740 と、被処理体 W を載置するウェハステージ 745 と、アライメント検出機構 750 と、フォーカス位置検出機構 760 とを有する。

【0054】

また、図 9 に示すように、EUV 光は大気に対する透過率が低いため、少なくとも EUV 光が通る光路は真空雰囲気 A であることが好ましい。

【0055】

照明装置 710 は、投影光学系 730 の円弧状の視野に対応する円弧状の EUV 光（例えば、波長 13.4 nm）によりマスク 720 を照明する照明装置であって、EUV 光源 712 と、照明光学系 714 より構成される。

【0056】

EUV 光源 712 は、例えば、レーザープラズマ光源が用いられる。これは真空容器中のターゲット材に高強度のパルスレーザー光を照射し、高温のプラズマを発生させ、これから放射される、例えば、波長 13 nm 程度の EUV 光を利用するものである。ターゲット材としては、金属膜、ガスジェット、液滴などが用いられる。放射される EUV 光の平均強度を高くするためにはパルスレーザーの繰り返し周波数は高い方が良く、通常数 kHz の繰り返しで運転される。

【0057】

照明光学系 714 は、集光ミラー、オプティカルインテグレーターなどから構成される。集光ミラーはレーザープラズマからほぼ等方的に放射される EUV 光を集める役割を果たす。オプティカルインテグレーターはマスクを均一に所定の開口数で照明する役割を持っている。またレチクルの照明領域を円弧状に限定するためのアパーチャが設けられる。

【0058】

マスク 720 は、反射型マスクで、その上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、マスクステージ 725 に支持及び駆動される。マスク 720 から発せられた回折光は、投影光学系 730 で反射されて被処理体 740 上に投影される。マスク 720 と被処理体 740 とは、光学的に共役の関係に配置される。露光装置 700 は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるた

め、マスク 720 と被処理体 740 を走査することによりマスク 720 のパターンを被処理体 740 上に縮小投影する。

【0059】

マスクステージ 725 は、マスク 720 を支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ 725 は、当業界周知のいかなる構成をも適用することができる。図示しない移動機構はリニアモーターなどで構成され、少なくとも X 方向にマスクステージを駆動することでマスク 720 を移動することができる。露光装置 700 は、マスク 720 と被処理体 740 を同期した状態で走査する。ここで、マスク 720 又は被処理体 740 面内で走査方向を X、それに垂直な方向を Y、マスク 720 又は被処理体 740 面に垂直な方向を Z とする。

【0060】

投影光学系 730 は複数の反射ミラー（即ち、多層膜ミラー）を用いて、マスク 720 面上のパターンを像面上に縮小投影する。ミラー枚数は 4 枚乃至 6 枚程度である。少ない枚数のミラーで広い露光領域を実現するには、光軸から一定の距離だけ離れた細い円弧状の領域（リングフィールド）だけを用いて、マスク 720 と被処理体 740 を同時に走査して広い面積を転写する。投影光学系 730 の開口数 NA は、0.1 乃至 0.3 程度である。かかる投影光学系 730 を構成する多層膜ミラーの調整に前述した本発明の調整装置 100 及び調整方法 1000 を適用することができ、波面収差が低減され、優れた結像性能を発揮する。

【0061】

被処理体 740 は、本実施形態ではウェハであるが、球状半導体、液晶基板その他の被処理体を広く含む。被処理体 740 には、フォトレジストが塗布されている。フォトレジスト塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布処理と、フォトレジスト塗布処理と、プリベーク処理とを含む。前処理は、洗浄、乾燥などを含む。密着性向上剤塗布処理は、フォトレジストと下地との密着性を高めるための表面改質（即ち、界面活性剤塗布による疎水性化）処理であり、HMDS（Hexamethyldisilazane）などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークは、ベーキング（焼成）工程であるが現像後のそれよりもソフトであり、溶剤を除去する。

【0062】

ウェハステージ745は、ウェハチャックによって被処理体740を支持する。ウェハステージ745は、例えば、リニアモーターを利用してXYZ方向に被処理体740を移動する。マスク720と被処理体740は、同期して走査される。また、マスクステージ725とウェハステージ745の位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。

【0063】

アライメント検出機構750によってマスク720の位置と投影光学系730の光軸との位置関係、および被処理体740の位置と投影光学系300の光軸との位置関係が計測され、マスク720の投影像が被処理体740の所定の位置に一致するようにマスクステージ725およびウェハステージ745の位置と角度が設定される。

【0064】

また、フォーカス位置検出機構760によって被処理体740面でZ方向のフォーカス位置が計測され、ウェハステージ745の位置及び角度を制御することによって、露光中は常時被処理体740面を投影光学系730による結像位置に保つ。

【0065】

露光において、照明装置710から射出されたEUV光はマスク720を照明し、マスク720面上のパターンを被処理体740面上に結像する。本実施例において、像面は円弧状（リング状）の像面となり、マスク720と被処理体740を縮小倍率比の速度比で走査することにより、マスク720の全面を露光する。

【0066】

次に、図10及び図11を参照して、上述の露光装置700を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図10は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パタ

ーンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィー技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、それが出荷（ステップ7）される。

【0067】

図11は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置700によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。

【0068】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、本発明は、光学系であって多層膜ミラーとそれ以外の光学要素（レンズ、回折格子等）を有するものにも適用できる。また、例えば、本発明は、ArFエキシマレーザーやF₂レーザーなどの波長200nm以下の紫外線用の投影光学系に適用することもでき、大画面をスキャン露光する露光装置にもスキャンしない露光をする露光装置にも適用可能である。

【0069】

【発明の効果】

本発明の調整装置及び方法によれば、多層膜ミラーを有する光学系に発生する全系の波面収差に基づいて、かかる多層膜ミラーの一部を除去することで波面収差を低減し、EUV光を用いた場合においても安定して微細なパターンを転写することができる光学系を提供することができる。よって、かかる光学系を用いた露光装置は、高品位なデバイスを露光性能良く提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の調整方法を説明するためのフローチャートである。

【図2】 本発明の調整装置の概略ブロック図である。

【図3】 膜数が均一な多層膜における入射光と反射波面の関係を示す概略模式図である。

【図4】 膜数が一層対異なる多層膜における入射光と反射波面の関係を示す概略模式図である。

【図5】 多層膜ミラーの反射率特性を示すグラフである。

【図6】 多層膜ミラーの多層膜の一部を除去した際の効果を示すグラフである。

【図7】 歪んだミラー基板に均一な多層膜が成膜された多層膜ミラーの概略断面図である。

【図8】 端部に比べて中心部が盛り上がっているミラー基板に均一な多層膜が成膜された多層膜ミラーの概略断面図である。

【図9】 本発明の例示的な露光装置の概略構成図である。

【図10】 本発明の露光装置を有するデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図11】 図10に示すステップ4の詳細なフローチャートである。

【図12】 本発明の調整方法を説明するためのフローチャートである。

【符号の説明】

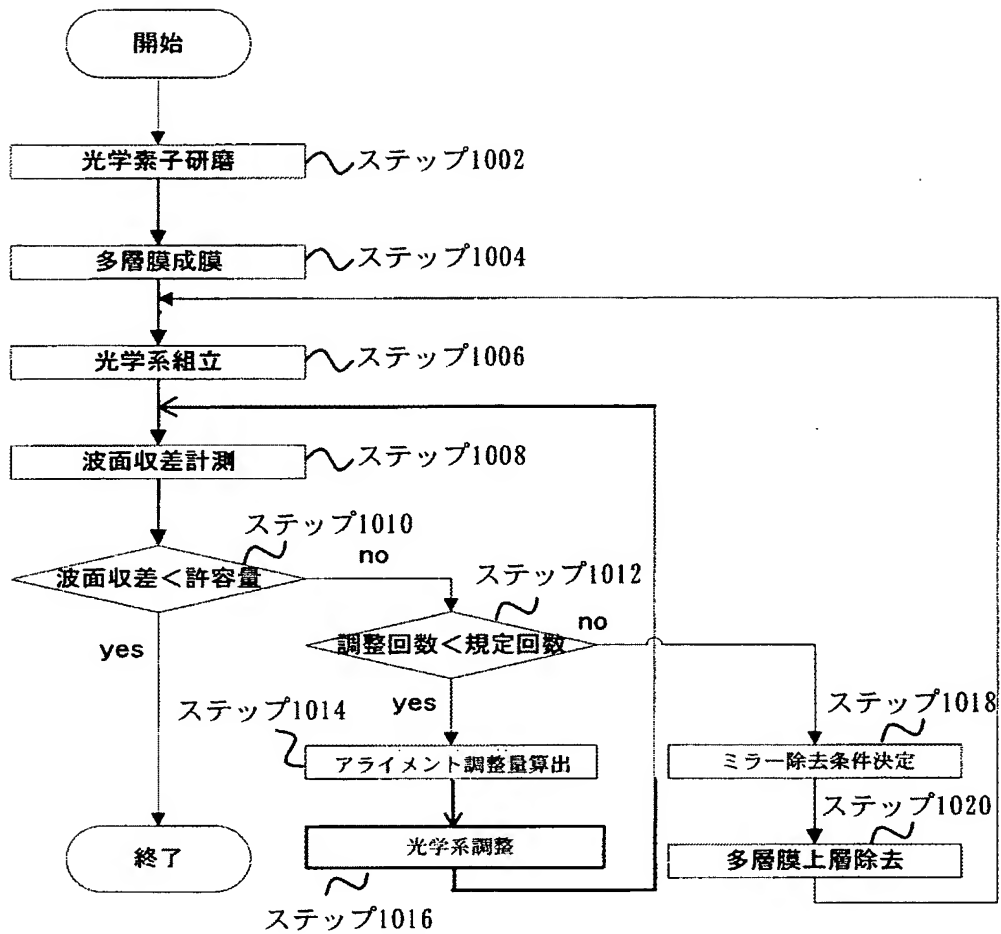
100	調整装置
110	計測部

1 2 0	除去部
1 3 0	制御部
7 0 0	露光装置
7 1 0	照明装置
7 2 0	マスク
7 3 0	投影光学系
7 4 0	被処理体
7 5 0	アライメント検出機構
7 6 0	フォーカス位置検出機構

【書類名】

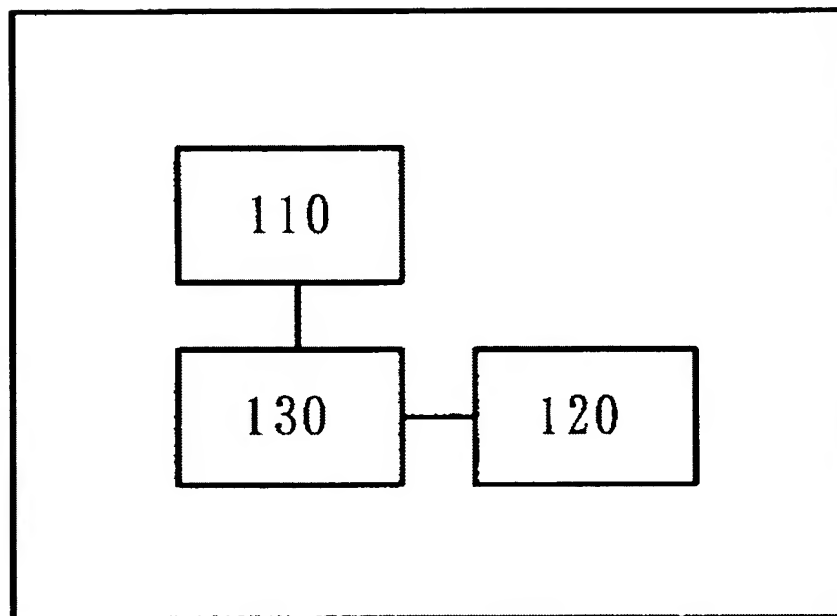
図面

【図 1】

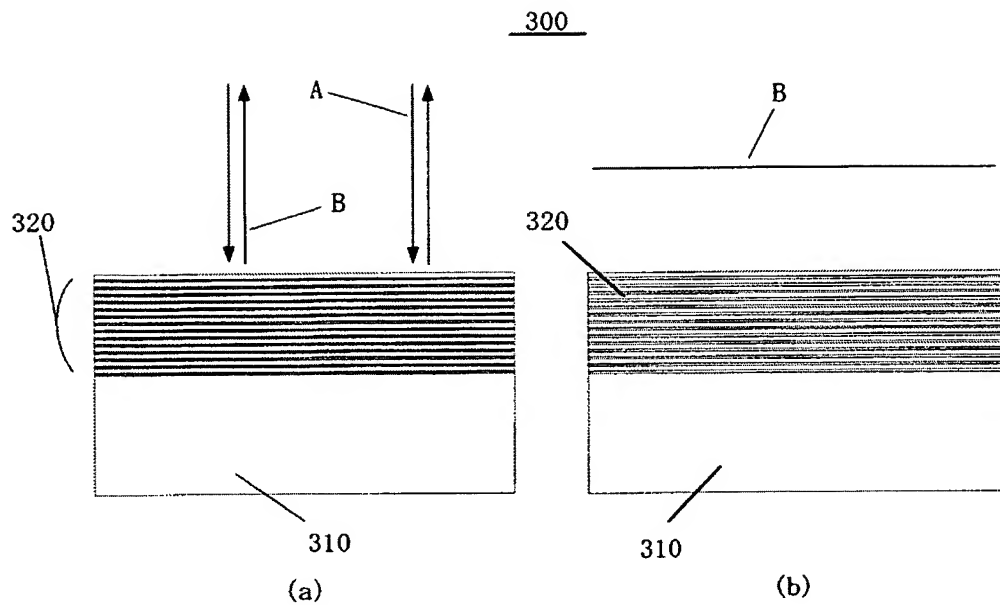
1000

【図 2】

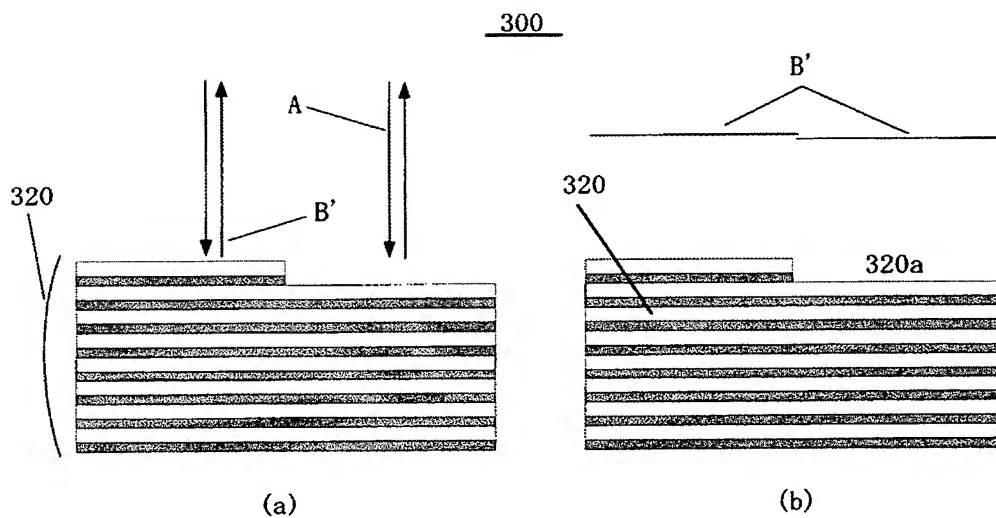
100



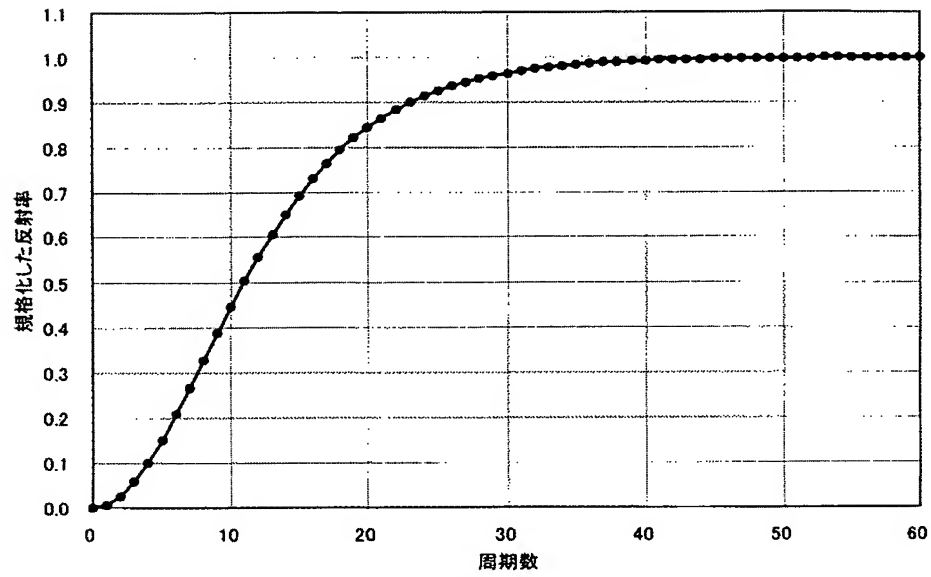
【図 3】



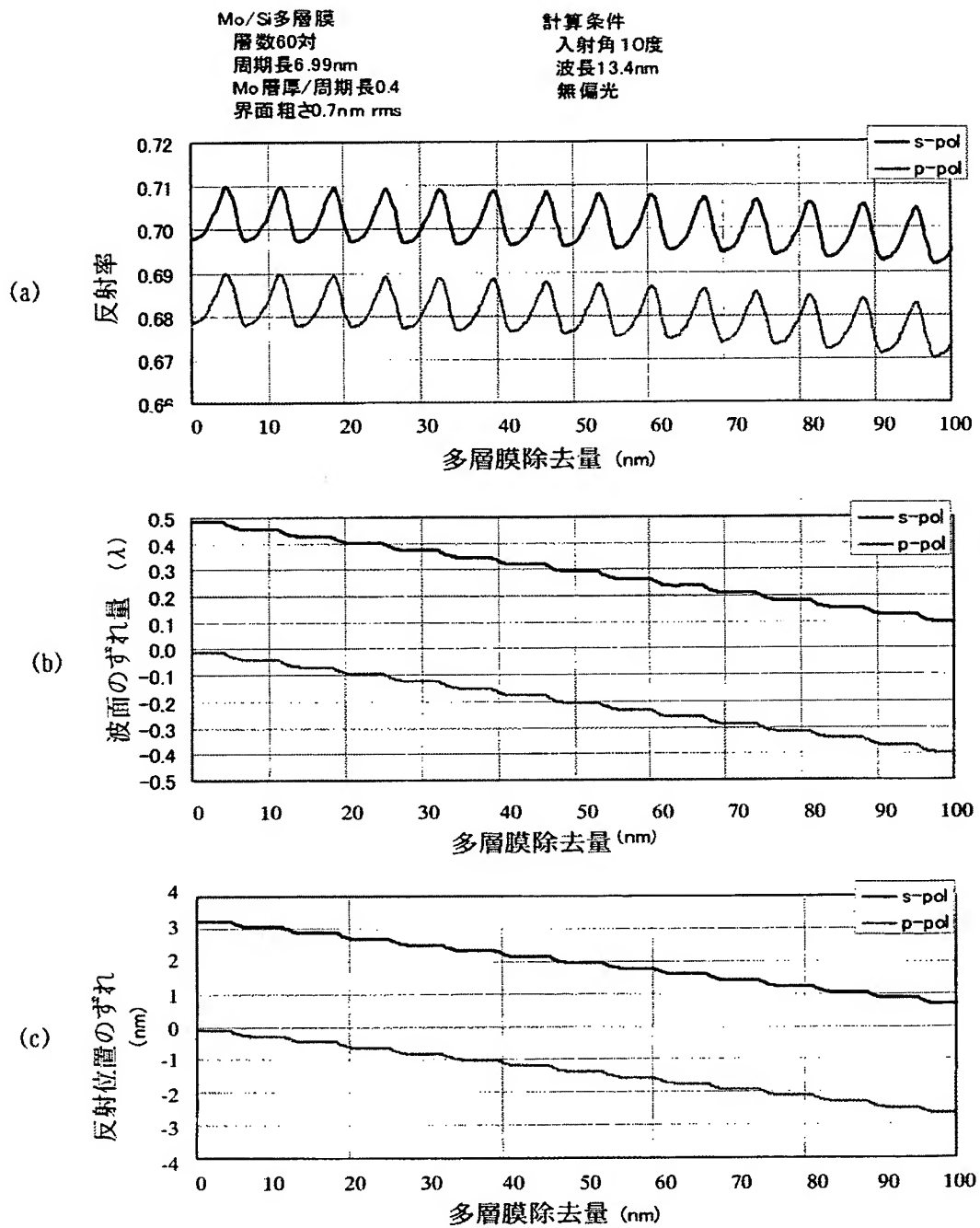
【図 4】



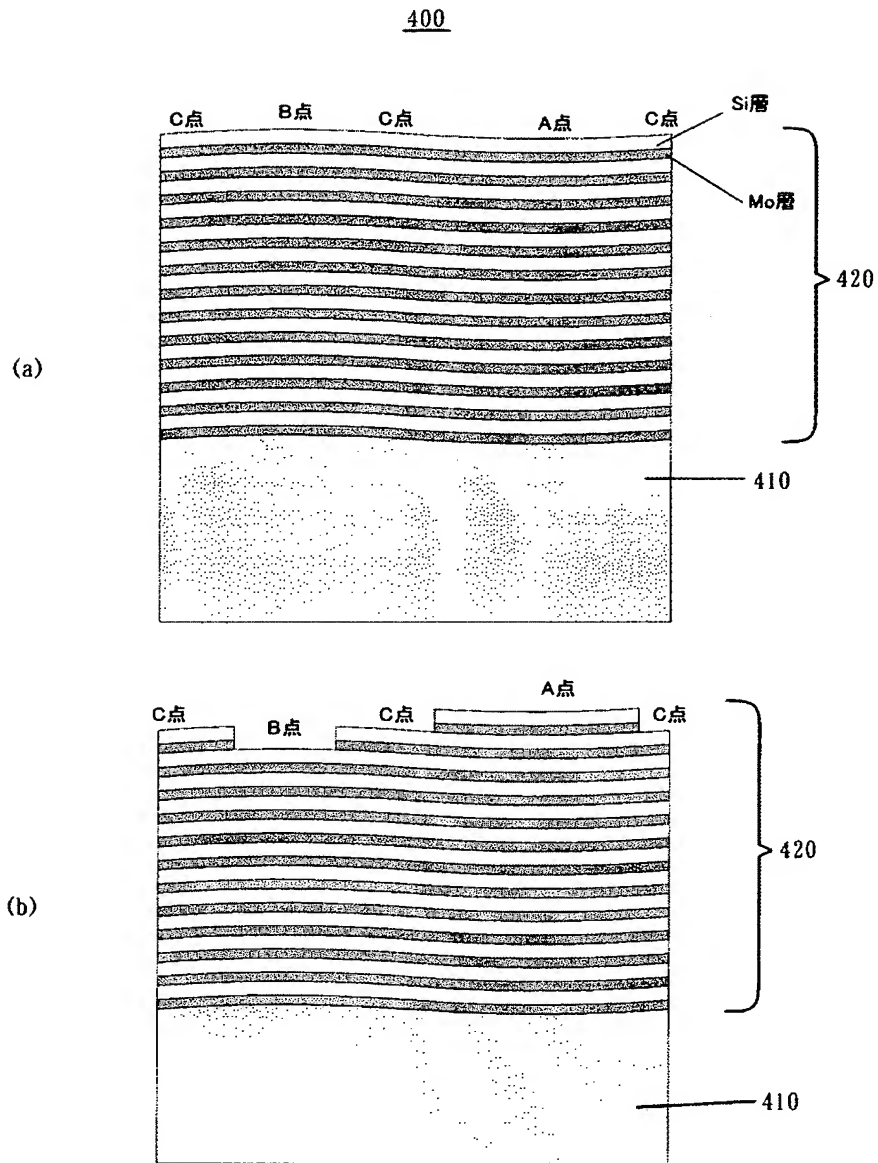
【図 5】



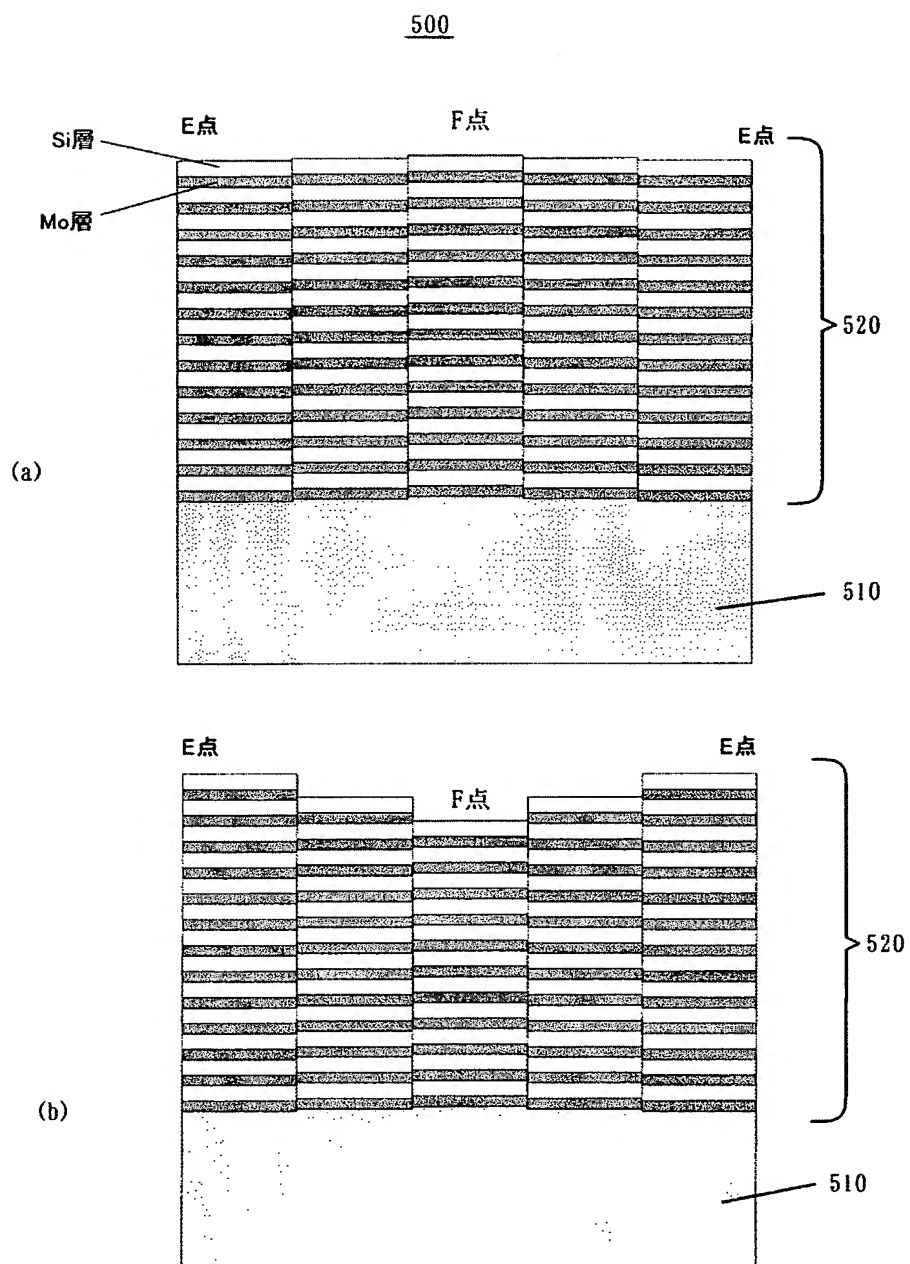
【図 6】



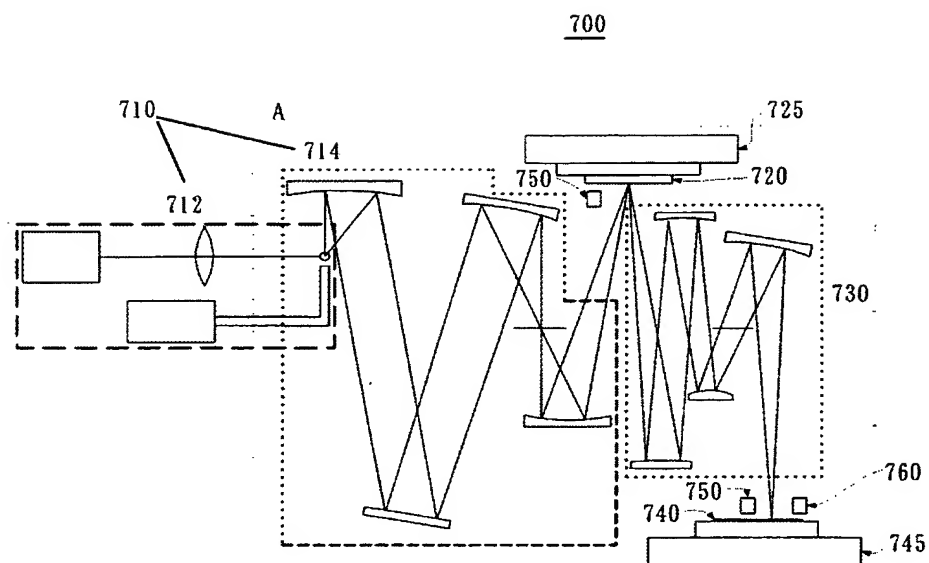
【図 7】



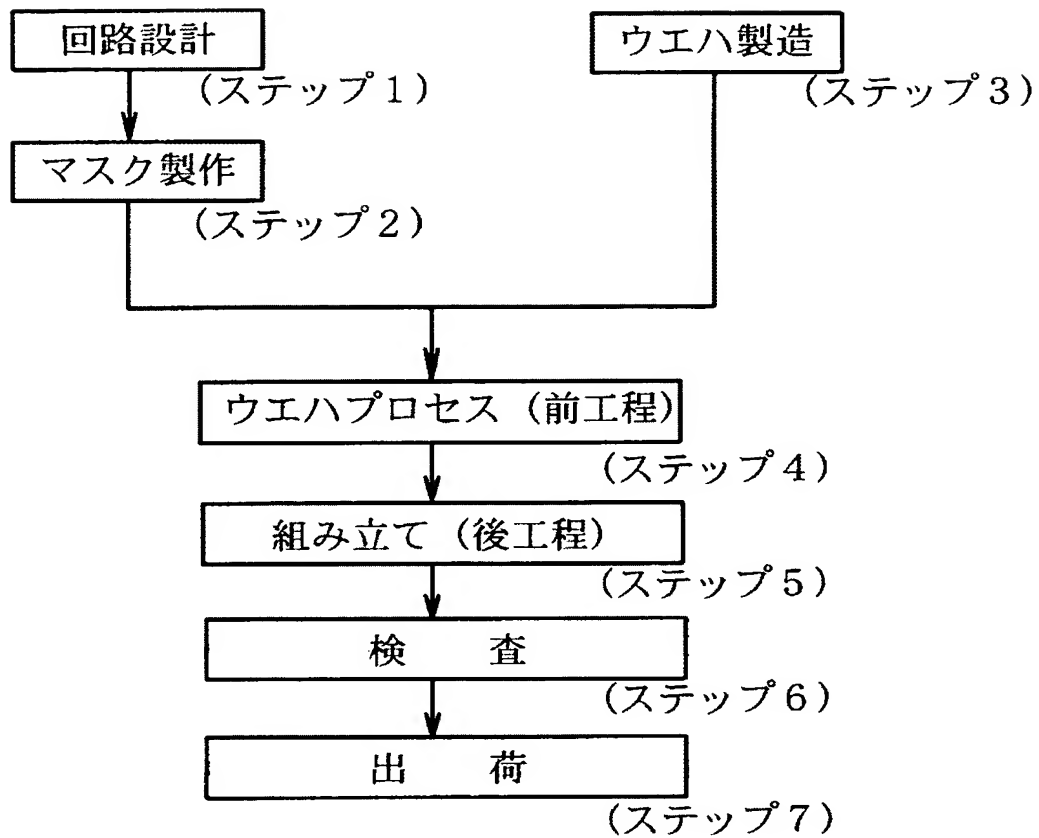
【図 8】



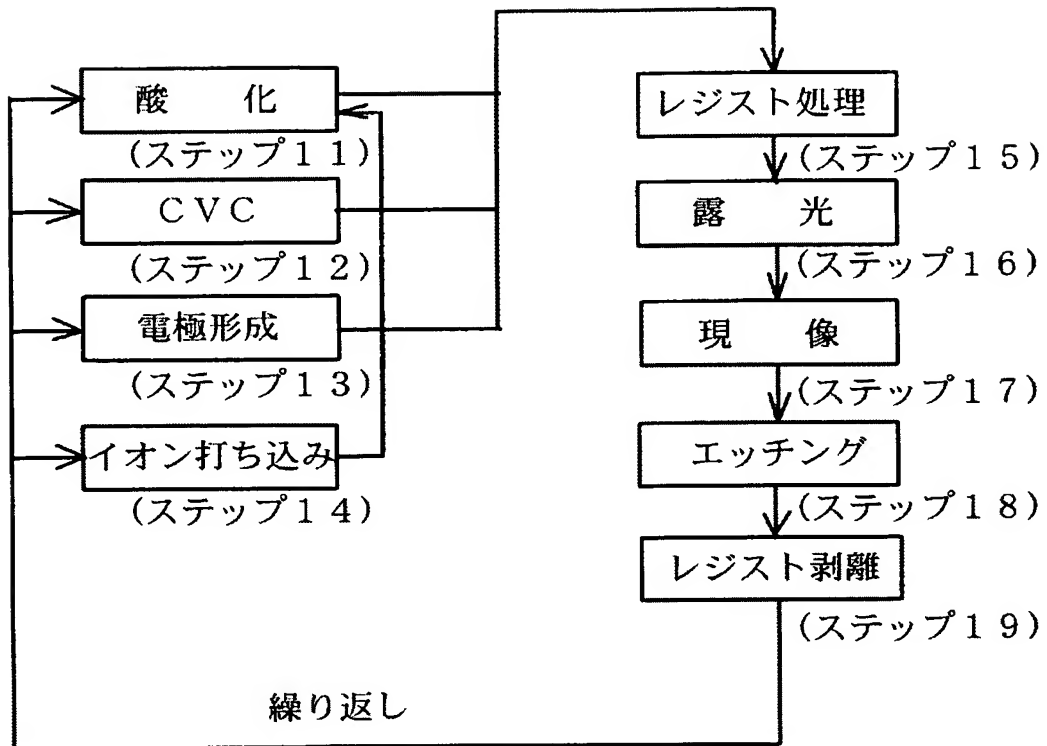
【図 9】



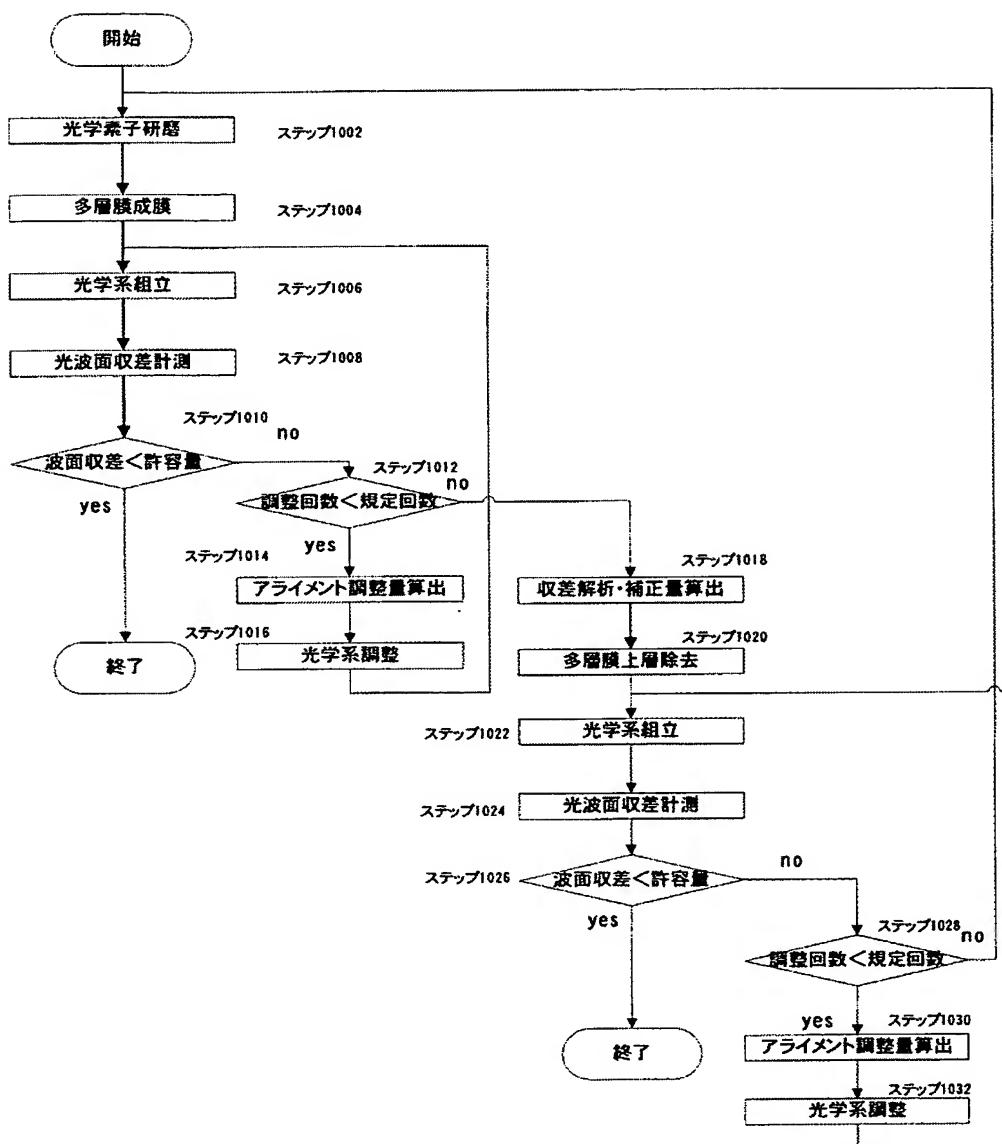
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 多層膜ミラーを用いた場合において安定して微細なパターンを転写することができる光学系の調整方法及び装置、露光装置を提供する。

【解決手段】 多層膜ミラーを有する光学系の調整方法であって、前記光学系の波面収差を計測するステップと、前記計測ステップで計測した前記波面収差が低減するように、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去する条件を決定するステップと、前記決定ステップで決定した前記条件に基づいて、前記多層膜ミラーの多層膜の一部を除去するステップとを有する調整方法を提供する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 2 2 0 3 8 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 0 0 7]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号

氏 名

キヤノン株式会社